



EESTI MAAÜLIKOOL

Põllumajandus- ja keskkonnainstituut

Liisi Anete Mark

**EESTI RANNANIITUDE BIOGAASI POTENTSIAALI
HINDAMINE**

**ESTIMATION OF BIOGAS POTENTIAL OF COASTAL
MEADOWS**

Bakalaureusetöö

Keskkonnakaitse õppekava

Juhendajad: Kaja Orupõld, *PhD*

Lisandra Marina da Rocha Meneses, *PhD*

Thaís Fernandes Bergamo

Tartu 2021

Eesti Maaülikool		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Autor: Liisi Anete Mark		Õppekava: Keskkonnakaitse	
Pealkiri: Eesti rannaniitude biogaasi potentsiaali hindamine			
Lehekülgi: 33	Jooniseid: 12	Tabeleid: 2	Lisasid: 1
Õppetool: Keskkonnakaitse- ja maastikukorralduse õppetool			
Uurimisvaldkond: Keskkonnatehnoloogia, T270			
Juhendajad: Kaja Orupõld, <i>PhD</i> , Lisandra Marina da Rocha Meneses, <i>PhD</i> , Thaisa Fernandes Bergamo			
Kaitsmiskoht ja aasta: Tartu, 2021			
<p>Bioenergia tootmine on jätkusuutliku arengu üheks oluliseks komponendiks. Biogaas alternatiivenergiana võib osutada väljapääsuks energia impordi sõltuvusest, lisaks aitab vähendada kasvuhoonegaaside heitkoguseid ning säästa taastumatuid energiaallikaid. Rannaniidu biomassi on võimalik kasutada biogaasi tootmise lähtematerjalina. Käesoleva töö eesmärk on hinnata Eesti rannaniidu taimede biogaasi ning metaani tootlikkust. Biogaasi ning metaani tootlikkuse määramiseks viidi läbi biokeemilise metaani potentsiaali katsed (BMP). Kokku analüüsiti 15 taimeproovi, mis olid kogutud Tahu rannaniidult erineva soolsusega vöönditest. Rannaniidu taimede keskmine biogaasi tootlikkus oli 383 L/kg kuivaine kohta (KA) ning 425 L/kg orgaanilise aine (OA) kohta. Metaani keskmine tootlikkus kuivaine kohta saadi 212 L/kg ja orgaanilise aine kohta 235 L/kg. Metaani sisaldus biogaasis oli keskmiselt 55%. Erinevatest vöönditest kogutud taimeproovide keskmised biogaasi tootlikkused ei erinenud. Saadud tulemustest selgus, et rannaniidu taimed on biogaasi tootmiseks sobilikuks lähtematerjaliks.</p>			
Märksõnad: biogaas, anaeroobne kääritamine, taastuenergia, rannaniit			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Bachelors' Thesis	
Author: Liisi Anete Mark		Speciality: Environment protection	
Title: Estimation of biogas potential of coastal meadows			
Pages: 33	Figures: 12	Tables: 2	Appendixes: 1
Chair: Chair of Environmental Protection and Landscape Management Field of research: Environmental technology, T270 Supervisors: Kaja Orupõld, <i>PhD</i> , Lisandra Marina da Rocha Meneses, <i>PhD</i> , Thaisa Fernandes Bergamo Place and date: Tartu, 2021			
Bioenergy production is one of the key components of sustainable development. Biogas as an alternative energy can be a way out of dependence on energy imports, in addition, it helps to reduce greenhouse gas emissions and save non-renewable energy sources. Coastal meadow biomass could be used as a feedstock for biogas production. The aim of this study is to evaluate the biogas and methane productivity of Estonian coastal meadow plants. Biochemical methane potential tests (BMP) were performed to determine biogas and methane potential. A total of 15 plant samples were collected from zones of different salinity from the Tahu coastal meadow. The average biogas potential of the coastal meadow plants was 383 L/kg TS and 425 L/kg VS. The average methane potential was 212 L/kg TS and 235 L/kg VS. The average methane content in biogas was 55%. The average biogas yields of plant communities did not differ. The results showed that coastal meadow plants are a suitable raw material for biogas production.			
Keywords: biogas, anaerobic digestion, renewable energy, coastal meadows			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	5
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE	6
1.1. Taastuenergia.....	6
1.2. Biogaas	8
1.3. Anaeroobne kääritamine	10
1.4. Taimedest biogaasi tootmine	12
1.5. Rannaniidud.....	14
2. METOODIKA	16
2.1. Proovide iseloomustus	16
2.2. Biogaasi mõõtmine	17
3. TULEMUSED	19
3.1. Biogaasi ja metaani tootlikkus.....	19
3.2. Biogaasi tekkimine ajas	21
4. ARUTELU.....	24
KOKKUVÕTE	26
SUMMARY.....	27
KASUTATUD KIRJANDUS.....	28
LISAD	31
Lisa 1. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus töö kaitsmisele lubamise kohta.....	32

SISSEJUHATUS

Taastuvenergia muutub ülemaailmselt aina aktuaalsemaks ja taastuvenergia tootmine on muutunud üheks peamiseks teguriks jätkusuutlikus arengus. Huvi anaeroobse kääritamise kui energia tootmise protsessi vastu on viimastel aastatel suurenenud. Huvi tuleneb suuresti vajadusest kasutada alternatiivseid energiaallikaid fossiilkütustele, vähendada jäätmekoguseid prügilates ja kasvuhoonegaaside heitkoguseid. Taimne biomass sobib hästi biogaasi tootmiseks anaeroobsel kääritamisel. Paljud taimed on energiarikkad ning ei vaja mõne teise lähtematerjaliga võrreldes nii palju eeltöötlemist. Niidutüüpidest on rannaniite kõige vähem uuritud biogaasi tootmise potentsiaali seisukohalt. Rannaniitude niitmise vajaduse esinemisel võiks saadavat biomassi kasutada biogaasi tootmiseks.

Antud töö uurimuslikuks eesmärgiks oli hinnata Eesti rannaniitude biogaasi potentsiaali. Kirjandusliku osa eesmärgiks oli leida andmeid taimede biogaasi tootlikkuse kohta. Lõputöö esimeses peatükis antakse kirjanduse põhjal ülevaade taastuvenergia kasutamisest, biogaasist, anaeroobsest kääritamisest, taimede kasutamisest biogaasi tootmisel ning rannaniidu taimkattest. Teises peatükis kirjeldatakse läbiviidud katsete metoodikat, antakse ülevaade proovidest ja biogaasi mõõtmisest. Kolmandas peatükis antakse edasi katse käigus saadud tulemused. Neljandas peatükis toimub arutelu, kus võetakse üldiselt kokku kirjanduse osas ning katse käigus saadud tulemused.

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1. Taastuvenergia

Taastuvenergia on ülemaailmselt aina aktuaalsem teema, sest on jätkusuutlikus arengus väga tähtsal kohal. Maailmamajandus sõltub energia, elektri ning muude kaupade tootmisel suuresti erinevatest fossiilkütustest nagu toornafta, kivisüsi ja maagaas (Kumar *et al* 2018). Ülemaailmne energiatarbimine suureneb pidevalt inimpopulatsiooni tööstusliku jõukuse suurenemise tõttu, samal ajal aga fossiilkütuste varud vähenevad. Taastuvatel energiaallikatel on väga suur potentsiaal säästva arengu tagamiseks, pakkudes sotsiaalmajanduslikke eeliseid, energiavarustuse mitmekesistamist, paremaid arenguvõimalusi ning riigisisese tööstuse arendamist ja rohkem töövõimalusi (Korres *et al* 2013).

Elektrituru seaduse kohaselt on biogaas, biomass, vesi, päike, tuul, tõus-mõõn, laine, prügilagaas, maasoojus ja heitvee puhastamisel eralduv gaas taastuvad energiaallikad (Elektrituruseadus 2017). Aina enam hakkab rolli mängima, millist ressursi kasutatakse lähtematerjalina taastuvenergia saamiseks – oluline on, et kasutatav algmaterjal oleks omamaine (Biogaasi tootmine ja kasutamine 2009). Biopõhise majanduse visioon on rahuldada ühiskonna kasvavaid energia- ja toorainevajadusi säästvalt (Kumar *et al* 2018).

Aastaks 2030 peab energia summaarsest lõpptarbimisest taastuvenergia osakaal olema vähemalt 42%. Põhilised suunad selle elluviimiseks on biokütuste kasutuse tõstmine transpordis, fossiilkütustel katelde vahetus taastuvkütustele ning kütusevabadel energiaallikatel elektritootmine. 2030. aastal prognoositakse taastuvenergia tootmist 16 TWh, see teeb 50% energia lõpptarbimisest. (Eesti riiklik energia- ja kliimakava aastani 2030)

Aastani 2050 näeb Eesti elektrimajanduse arengu visioon ette seda, et majanduse ressursitõhusust toetatakse elektri tootmisel, lisaks kasutatakse energiaallikana ka tootmisjääke, mis ei leia otstarvet ja kasutust ning elektri tootmisel kasvab kütusevabade ja muude taastuvate energiaallikate osakaal, sealhulgas ka biogaasi osakaal (Elering 2010).

Taastuenergia, mis on toodetud omamaisest toorainest on jätkusuutliku regionaalarengu edendajaks, mitmekesistab maamajandust, vähendab impordisõltuvust, edendab hajutatud energiatootmist ja vähendab keskkonna saastamist.

Taastueneriaga arendamisel soovitakse eelkõige panustada lahendustele, mis võimaldaksid kasutada maksimaalselt Eesti geograafilisi võimalusi ning ka looduslikest tingimustest tulenevaid võimalusi. Oluline roll on biomassil, mille puhul soovitakse leida lahendusi, mis võimaldaksid ressursi maksimaalselt ka väärindada. Eesmärgiks on kodumaise biometaaniga katta gaasilised kütused. Biometaani plaanitakse toota kuni 340 GWh. (Eesti riiklik energia- ja kliimakava aastani 2030).

Hetkel toimub Eesti puhul biogaasi tootmine siiski veel pigem hajutatult ja väikestes kogustes (Eesti taastuenergia tegevuskava aastani 2020). Puuduvad piisavalt suured ressursid, et suures mahus biogaasi toota ning piisavas koguses sellest elektrit toota ja elektrivõrku müüa või teha sellest biometaani ning juhtida maagaasi võrku (Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium – Taastuenergia 2009).

Oskusteabe olemasolu on vaja tagada kõigis bioenergia tootmise liikides (vedelad biokütused, biogaas, elektri ja soojuste tootmine biomassist), et riigi arendustegevus ja saadud toetused osutuksid efektiivseteks. Oluline on kindlus, millised on need bioenergia liigid, mis osutuvad kõige optimaalsemateks kohalikes tingimustes. Koostöö osas, mis toimub rahvusvaheliselt, on ülioluline, et see oleks võimalikult lai – hõlmaks uuringuid ja ürituste korraldamisi kui ühisprojekte. (Eesti taastuenergia tegevuskava aastani 2020)

Balti riigid on kokku leppinud, et piirkondlikult laiendatakse koostööd taastuenergia arendamiseks ning energiatõhususeks. Eriti just transpordi sektoris – tollide koordineerimine võimalike raskeveoste ja teekasutustasude suhtes, biometaani tootmise ning selle turu arendamises ja biokütuste nõuete koordineerimises (Eesti riiklik energia- ja kliimakava aastani 2030). Riikide arengukavade kohaselt tõuseb aina enam bioenergia osakaalu tähtsus ning nõuded. Nende sätete rakendamisega on lootust tulevikus katta suuremalt jaolt kõik tarbimiskulud alternatiivenergiatega.

1.2. Biogaas

Biogaas on gaasiline kütus, mis on saadud anaeroobse kääritamise teel (Eesti Biogaasi Assotsiatsioon 2009). See on peamiselt metaanist ja süsinikdioksiidist koosnev gaas (Abbasi *et al* 2012), leidub ka teisi komponente nagu veeaur, divesiniksulfiid (H_2S), lämmastik (N_2) süsinikoksiid (CO) ja ammoniaak (NH_3) (Tabel 1) (Angelidaki *et al* 2011). Biogaasi saamise protsessi käigus annavad rasvad ja valgud üldjuhul suuremas koguses vesinikku, mistõttu on nendest substraatidest saadud biogaasis metaanisisaldus suurem (Abbasi *et al* 2012).

Tabel 1. Biogaasi keskmine koostis (Biogaasi tootmine ja kasutamine 2009)

Koostisosa	Sisaldus, mahu%
Metaan (CH_4)	50–75
Süsihappegaas (CO_2)	25–45
Veeaur (H_2O)	2–7
Divesiniksulfiid (H_2S)	0,0020–2
Lämmastik (N_2)	< 2
Hapnik (O_2)	< 2
Vesinik (H_2)	< 1

Loodusliku protsessi käigus on biogaasi võimalik saada rabadest ja soodest (Korres *et al* 2013). Lisaks on biogaasi võimalik saada spetsiaalseid kääriteid kasutades reoveest, rohtsest biomassist, sõnnikust ning ka teistest biolagunevatest jäätmetest (Eesti Biogaasi Assotsiatsioon 2009). Biogaasil on kõrge kütteväärtus, seda saab otse kasutada kütusena ja sellest elektri toota (Abbasi *et al* 2012). Biogaasi kütteväärtus sõltub kõige enam metaani sisaldusest, mis sõltub omakorda kääritatava materjali tüübist ning toitainete sisaldusest. Biogaasi kütteväärtus jääb üldjuhul vahemikku 5–7 kWh/m³. (Eesti Biogaasi Assotsiatsioon 2009). Puhastatud biogaas ehk biometaan sisaldab vähemalt 96–97% metaani ning omab maagaasiga peaaegu võrdset kütteväärtust (Korres *et al* 2013). Biogaasil on suur potentsiaal energia tootmiseks orgaanilistest jäätmetest. See aitab vähendada fossiilkütuste kasutamist ning seeläbi vähendada süsinikdioksiidi heidet (Angelidaki *et al* 2011). Biogaasi tootmine biomassi jäätmetest on siiski veel väljakutset esitav ettevõtmine, seda just jäätmete füüsikaliste ja keemiliste omaduste keerukuse tõttu (Rasapoor 2020). Biogaasi toodetakse enamasti suurtes ning õhutihedates mahutites, mida nimetatakse bioreaktoriteks või käärititeks.

Biogaasi tootmine toimub mitmes etapis (Kriipsalu *et al* 2016):

- 1) Toorme hankimine ning ladustamine;

- 2) Biomassi või biolagunevate jäätmete eeltöötlemine: purustamine, peenestamine, sõelumine ning segamine;
- 3) Kääritamine algab toorme annustamisega kääritisse, kääritamise kestel soojendatakse ning segatakse käärivat massi;
- 4) Biogaasi kogumine, selle töötlemine, säilitamine ning kasutamine;
- 5) Käärimisjäägi käitlemine.

Tabel 2. Biogaasi tootmistehnoloogiad jaotatuna erinevate kriteeriumite alusel (Biogaasi tootmine ja kasutamine 2009)

Kriteerium	Tehnoloogia
Protsessi etappide arv	Üheetapiline Kaheetapiline Kolmeetapiline
Protsessi temperatuur	Psührofiilne Mesofiilne Termofiilne
Kääritusmahuti täitmisviis	Katkev täitmine Osaliselt katkev Katkematu
Substraadi kuivaine sisaldus	Märgkäärimine Kuivkäärimine

Biogaasi kuivatatakse veeaurust ning seda kogutakse gaasihoidlatesse. Gaasi saab kas põletada kohapeal gaasikatlas, elektri- ja soojusenergia koostootmiseladmes või siis puhastada ja juhtida gaasivõrku või kasutatada hoopis autokütusena (Kriipsalu *et al* 2016). Selleks, et biogaasist saada metaan, mida saaks juhtida otse ka maagaasivõrkudesse, tuleb biogaas puhastada (Bharathiraja *et al* 2018). Biogaasi kütteväärtust alandavad süsihappegaas, hapnik, lämmastik ning mõningal määral ka vingugaas. Biogaasis võib lisaks metaanile ja süsinikdioksiidile olla mitmeid teisi koostisosi, millest ammoniaak, vesi, väävelvesinik ning fluori ja kloori sisaldavad ühendid põhjustavad korrosiooni. (Kriipsalu *et al* 2016)

Hoonete kompleksi, kus toodetakse biogaasi nimetatakse biogaasijaamaks (Biogaasi tootmine ja kasutamine 2009). Eestis on tegutsevaid biogaasijaamasid kokku 17 – nendest 7

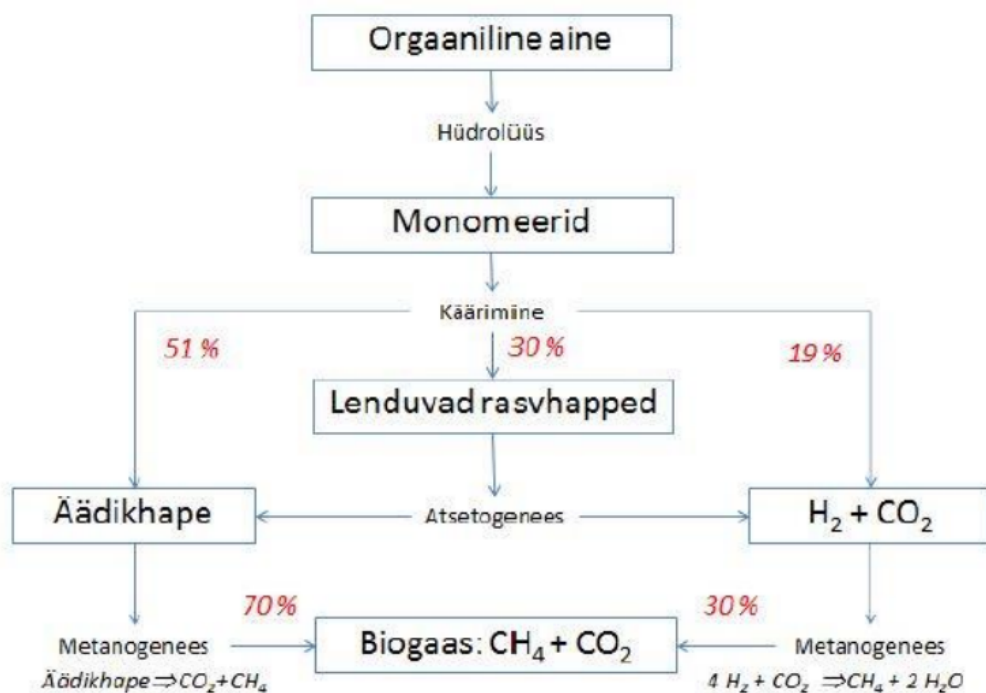
on reoveepuhastus ja tööstusreovee käitlusjaama, 5 põllumajanduslikku biogaasijaama ning 5 prügilagaasi tootmisüksust (Eesti Biogaasi Assotsiatsioon). Eestis on biogaasi tootmiseks kõlblikud põllumaal kasvatatavad energiakultuurid, läga, rohtne biomass, laudasõnnik, reoveesete ja biolagunevad jäätmed. Kui umbes 5% haritavast maast läheks rohtse biomassi kasvatamise alla, võiks Eestis toota umbes 390 miljonit Nm³ biogaasi aastas (Kriipsalu *et al* 2016). Eestis valmistub biogaasi tootma veel lisaks olemasolevatele mitu uut ettevõtet.

1.3. Anaeroobne kääritamine

Anaeroobne kääritamine (joonis 1) on keerukas protsess, mis toimub erinevate bakterite ja metanogeensete arhede koosluse toimel hapnikuvabas keskkonnas (Ren *et al* 2018). Anaeroobne lagunemine on üsna aeglane protsess, mille käigus ei eraldu soojust ning mis algab sobivas keskkonnas iseenesest (EV Keskkonnaministeerium 2005). Käärimise käigus eraldub biogaas, süsihappegaasi ja metaani segu (EV Keskkonnaministeerium 2005). Uuringud näitavad, et anaeroobne kääritamine on tõenäoliselt üks kõige lootustandvamaid tehnoloogiaid biomassi energia taastamiseks, eriti näiteks farmides (Bedoíca *et al* 2019). Ühtlasi on anaeroobne kääritamine kõige sobivam tehnoloogia biomassi ja orgaaniliste jäätmete muutmiseks biometaaniks (Korres *et al* 2013).

Metaankääritamine jaotatakse nelja faasi (joonis 1):

- 1) Suhteliselt aeglane hüdroolüüsifaas – rakuväliste ensüümide abil lagundavad bakterid tahked orgaanilised ühendid (valgud, lipiidid, tselluloosi ja ligniini) monomeerseteks ühenditeks;
- 2) Kiire happemoodustumisfaas – atsetogeensed bakterid muudavad eelmises faasis saadud lagusaadused lenduvateks rasvhapeteks (propaanhappeks, äädikhappeks), süsinikdioksiidiks ja vesinikuks;
- 3) Kiire käärimisfaas – bakterid muudavad alkoholid ja pikema ahelaga orgaanilised happed molekulaarseks vesinikuks ning äädikhappeks;
- 4) Aeglaselt kulgev gaasitekkefaas – viiakse lagunemine lõpuni obligatoorsete anaeroobsete arhede poolt, kellest ühed toodavad vesinikust ja süsinikdioksiidist ning teised äädikhapest metaani. Metaan ja vesi tekivad kui süsinikdioksiidi kulul oksüdeeritakse gaasiline vesinik. (Bharathiraja *et al* 2018)



Joonis 1. Orgaanilise aine anaeroobse lagunemise kulg (metaanitekke jagunemist faaside vahel näitavad protsendid) (Kriipsalu *et al* 2016).

Anaeroobset lagunemist saab kiirendada soojendamise ja segamisega (EV Keskkonnaministeerium 2005). Kui temperatuur on madalam kui 35 kraadi või kõrgem kui 60 kraadi, siis protsess aeglustub, kuna väljaspool nimetatud temperatuurivahemikku ei suuda protsessile iseloomulikud mikroobide konsortsiumid ellu jääda (Abbasi *et al* 2012). Protsessi temperatuuri võib hoida nii mesofiilses kui ka termofiilses vahemikus (Angelidaki *et al* 2011). Mesofiilne protsess on kõige efektiivsem temperatuurivahemikuks 30–40°C, termofiilne protsess temperatuurivahemikus 50–60°C (Korres *et al* 2013). Termofiilse käärimise plussiks on, et see on kiirem kui mesofiilne käärimine, sest biokeemiliste reaktsioonide kiirus kasvab temperatuuri tõusuga (Nijaguna 2006). Muudeks eelisteks seejuures on tahke materjali parem kasutamine, umbrohuseemnete ja patogeensete organismide tõhusam hävimine, vedelgaasi kiirem eraldumine käärimisjäägist (Kriipsalu *et al* 2016). Termofiilse protsessi energiakulu on tunduvalt suurem (Abbasi *et al* 2012), vedelgaasi kvaliteet kehvem ning probleeme esineb ka haisuga (Kriipsalu *et al* 2016). Termofiilne protsess on ebastabiilsem ning nõuab hoolikat jälgimist kuna termofiilsed mikroorganismid ei talu temperatuuri kõikumist nii hästi kui mesofiilsed mikroorganismid (Nijaguna 2006). Biogaas tekib ka psührofiilsel ehk külmkääritamisel, kuid tööstuslikult seda ei kasutata kuna metanogeenide kasv on seljuhul väga aeglane (Kriipsalu *et al* 2016).

Anaeroobne kääriti eeldab tähelepanelikku ning sagedast segamist, selleks et gaas tekiks ühtlaselt ning pääseks massist välja (Bedoíca *et al* 2019). Kuna käärimistemperatuur mesofiilses protsessis üle 30–38 °C ei tõuse, siis võib olla, et käärimisjääk tuleb hügieeninõuete täitmiseks pastöriseerida või järelkompostida. See on oluline siis kui lähtematerjal on loomseid kõrvalsaadusi (Kriipsalu *et al* 2016). Anaeroobse käärimise protsessil võib olla ka mitmeid häiringuid põhjustavaid tegureid, mis mõjutavad protsessi kulgemist (Mao *et al* 2015). Olulised tegurid on protsessi temperatuur, kasutatavad vahendid/tehnoloogia ning lähteaine koostis (Angelidaki *et al* 2011). Temperatuuri puhul on oluline säilitada sama temperatuur algusest lõpuni, sest metaanibakterid taluvad temperatuuri muutusi väga väikestes vahemikes. Kuna atsidogeneesi ja hüdrolyüsi läbi viivad bakterid taluvad tunduvalt suuremaid temperatuuri muutusi, siis tulemuseks on pH langus, sest käärimiskambrisse tekib rohkem happeid kui metaanibaktereid ei ole. Käärimisprotsessile avaldavad mõju ka lähteaine reageerimine ning erinevate ainete koosmõju (Korres *et al* 2013). Biogaasi saagise ning kvaliteedi tagamiseks võib olla substraate vaja eelnevalt töödelda. Näiteks tuleb eemaldada võõrkehad – kivid, plastik, metall, puit, liiv jt. Mitmed substraadid, näiteks põhk ja mitmed muud koristusjäägid, vajavad eelnevat purustamist (Biogaasi tootmine ja kasutamine 2009). Purustada tuleb selleks, et lähtematerjali osakeste pind suureneks ning seeläbi oleks tagatud parem kontakt bakteritega.

1.4. Taimedest biogaasi tootmine

Jätkusuutlik biogaasi tootmine anaeroobses lagundamisprotsessis kasutab alternatiivseid biomassi allikaid, mis ei oleks konkurentsivõimeline toidutootmisega (Bedoíca *et al* 2019). Nisu, riis ja mais on peamised teraviljakultuurid kogu maailmas. Nendest põllukultuuridest tekkinud jäägid on kõige enam kasutatavad taastuvad süsinikuallikad (Kumar *et al* 2018). Maisi kasvatamine kogub perspektiivis üha suuremat tähelepanu, sest mais on biogaasi tootmiseks sobilik taim ning hektari kohta üsna kõrge energeetilise saagikusega (Biogaasi tootmine ja kasutamine 2009). Tekkinud on tihe konkurents maisile nii söödana kui ka biogaasi tootmiseks (Biogaasi tootmine ja kasutamine 2009). Näiteks Brasiilia ja Ameerika Ühendriigid täidavad 80% kogu maailma bioetanooli tarnimisest, kasutades biomassina maisi ja suhkrurooga (Kumar *et al* 2018). Nisu, rukis, kartul, tritikale ja suhkrupeet on need taimed, mis sobivad lisaks vedelkütuste tootmisele ka biogaasi tootmiseks (Eesti

taastuenergia tegevuskava aastani 2020). Suhkru- ja söögipeedid sobivad suure saagikuse poolest energiakultuurideks. Probleemiks on peetide puhastamine. Puhastamise käigus tuleb eraldada võimalikult palju mulda, kuna muld settib käärimiskambri põhja ning väärtuslik käärimisruum läheb kaotsi. (Biogaasi tootmine ja kasutamine 2009). Suhkrupeedi kasutamist piirab Eestis tootmiskvoodi puudumine selle kasvatamiseks energiakultuurina – tootja ei saaks sellist toetust, mida on võimaldatud tootjatele kvoodiga riikides (Eesti taastuenergia tegevuskava aastani 2020). Elutsükli analüüsi tulemuste põhjal võib järeldada, et rohujääkide kasutamine on soojuse ja elektri tootmisel üsna perspektiivikas, eriti just ökosüsteemi kvaliteedi parandamisel (Bedoića *et al* 2019). Päideroog on taim, mille kasutamine võib osutuda biogaasi tootmisel üpriski perspektiivikaks (Eesti taastuenergia tegevuskava aastani 2020). Biogaasi tootmiseks kasutatakse ka jääkheina, millest saadud biogaas on potentsiaallika metaanisisaldusega (Bedoića *et al* 2019). Märgalade taimede biomassist energiatootmine on paljulubav allikas väikesemahulistele kütteseadmetele (Kimmel 2010). Rohumaade biomassi saab kasutada nii biokütuse tootmise kui ka elektri ja soojuse tootmise lähteainena (Heinsoo 2010). Looduslikel rohumaadel on biomassi ressursi mõjutajateks taimkatte liigiline koosseis, muld ning ilmastik (Värnik – Lõpparuanne 2011). Uuringutest on välja tulnud, et poollooduslike rohumaade biomassi kütteväärtus on sarnane spetsiaalsete energiakultuuride kütteväärtusega (Heinsoo 2010). Hooldamata rannaniidud osutuvad kasulikumaks kui järjepidevalt hooldatud, sest neil hakkab domineerima pilliroog ja biomassi toodang palju suurem (Värnik – Lõpparuanne 2011). Pilliroo ning hundinuia kogumist rannaniitudelt, puisniitudelt ja märgaladelt energia saamiseks piirab nende paralleelselt kasutamine ehitusmaterjalidena (Eesti taastuenergia tegevuskava aastani 2020). Välitööd on näidanud, et roheline biomassi keskmine saagikus jõekaldal on umbes 13 t/ha ning keskmine kuivainesisaldus jõekalda rohus on 37% ehk kuivmassi saagiks tuleb umbes 4,8 t/ha (Bedoića *et al* 2019). Hinnanguliselt oleks rannaniitudelt, puisniitudelt ja üleujutatud lammialadelt võimalik pilliroogu kasutada biomassi varuna ja seda 1 500 GWh aastas primaarenergia sisalduse järgi (Värnik – Lõpparuanne 2011). Parkides ning tänavate ääres tekib kommunaalpindade hooldamisest üsnagi suur kogus orgaanilist jääki, mis on hea lisasubstraat biogaasi tootmisel kuivaine kõrge sisalduse tõttu - muru on võimalik probleemivabalt sileerida ning eraldada tuleb ainult võõrkehad – oksad, kivid jt (Biogaasi tootmine ja kasutamine 2009). Üldiselt uuringute tulemused on viidanud järeldusele, et rohtse biomassi energia saamine võib anaeroobse käärimise tarneahela sõltuvust energiakultuuridest vähendada, andes samal ajal ka positiivse energiatootluse.

1.5. Rannaniidud

Rannaniidud on levinud enamasti ainult Euroopas, kõige rohkem on antud elupaigatüüp levinud Eestis ning vähesemal määral leidub ka Rootsis, Lätis ja Soomes. Taanlased on saanud rannaniitude majandamise osas palju uusi ideid ning kogemusi just Eestist. Lisaks omab Eesti palju teavet ka rannaniiduliikide kohta. (Rannap 2004)

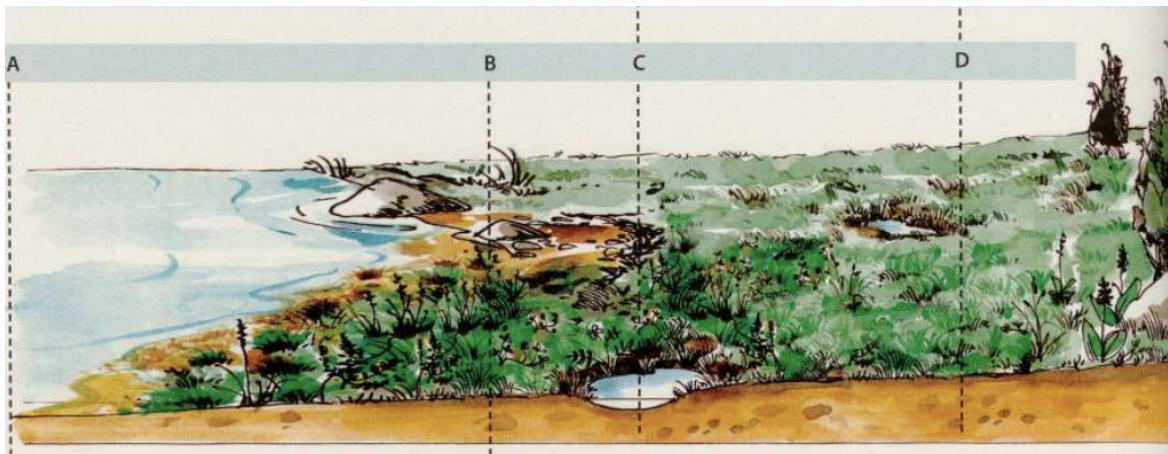
Rannaniit on rohttaimedega kaetud, madal ning tasane rannalõik, mis on suures osas üleujutatav. Rannaniidud Eestis on üldjuhul primaartekkelised ehk need on moodustunud merest kerkinud aladele, aluspinna tõusu tõttu. Rannaniidud on poollooduslikud kooslused, mille püsimine ning teke on inimtegevusega tihedas seoses. Rannaniitude püsimiseks on vajalik nende karjatamine või niitmine. Rannaniitudele on iseloomulik soolalembene taimestik ning liigirohke linnustik. Paralleelne vööndilisus merepiiriga iseloomustab rannaniitude taimestikku. Taimeliike iseloomustab soolalembelisus. Avatuna on rannaniidud säilinud tänu rohusööjatele ning häiringutele, mis on tingitud mere mõjust. (Rannaniitude hoolduskava 2020)

Toidutaimena on kevadine roheline roog loomadele väga väärtuslik. Suve esimesel poolel kasvab roostiku biomass väga kiiresti, kõrred puituvad suve keskpaigaks ning kariloomadele toidutaimedena enam erilist huvi ei paku. Majanduslikult on väga oluline aidata leida alade majandajatel mõistlikke kasutusviise tekkivale biomassile. Seda eelkõige seetõttu, et rannaniitude niitmine toimub selleks, et koguda aladelt loomadele sööta ning niidetud biomassi ajapikku kuhjumisel tekitab see toitainete kuhjumist, mille tagajärjeks võib olla taimestiku vaesumine ning ühtlasi tekitab lindude puhul toitumiseks sobimatut kulukihti. (Rannaniitude hoolduskava 2020)

Rannaniidud jagatakse kolmeks peamiseks vööndiks (joonis 2) vastavalt kõrgusele merepinnast ning eelnevast tulenevast merevee mõju tugevusest. Rannikutaimestikku mõjutavad veel lainete, tuulte ning jää mehhaaniline toime. Iseloomulik vööndilisus mereranniku taimkattele tuleneb reeglina just sellest. Rannikuniitudele on iseloomulik avatus nagu ka enamikele teistele niitudele. (Pärandkoosluse Kaitse Ühing – Rannaniidud Eestis)

Rannaniidul kolm peamist vööndit: subsaliinne, salinne ja suprasaliinne (Rannap 2004). Subsaliinsele vööndile on iseloomulik üle ujutatud rannaala, kas siis alaliselt või pikka aega.

Taimede alumised osad on reeglina alaliselt vees. Saliinne vöönd on kõrgvee või lainetuse ajal merevee mõjupiirkonnas. Tavaliselt mere mõju suprasaliinsele vööndile enam ei ulatu. (Pärandkoosluse Kaitse Ühing – Rannaniidud Eestis)



Joonis 2. Rannaniidu vööndid: A – B subsaliinne vöönd, B – C salinne vöönd, C – D suprasaliinne vöönd (Rannap 2004).

Kui rannaniidud on majandamata, siis subsaliinse vööndi hõivavad pikad veetaimed, näiteks harilik pilliroog. Subsaliinne vöönd on enamasti kaetud madalate taimeliikidega, kõige iseloomulikumaks näiteks merihein. (Rannap 2004)

Saliinsele vööndile iseloomulikud taimed on rand-teeleht, rand-õisluht, soomusalss, rannikas, tuderluga ning randaster. Harilik soolarohi ja rand-soodahein on eriti soolalembelised taimed ning asustavad rannaniitudele iseloomulikke soolalaike. Rannaniitudel on soontaimi kokku leitud 390 liiki, Eesti liikidest moodustab see 26% ning sammaltaimi on kokku leitud 100 liiki, mis Eesti sammalde liikidest moodustab 17%. (Rannaniitude hoolduskava 2020)

Suprasaliinse vööndis on enim levinud punase aruheina kooslus, mõningal määral leidub klibuvallidel kasvavaid roog-aruheina, kõrge raikaeriku kooslusi ning veidi soostunud lohkudes ettetulevaid lubika ja hirsstarna-hariliku tarna kooslusi (Pärandkoosluse Kaitse Ühing – Rannaniidud Eestis).

Rannaniidu vööndid on hästi eristuvad. Kõige väiksema biomassiga vöönd on subsaliinne, seejärel salinne ning kõige kõrgema biomassiga vööndiks on suprasaliinne. Joonis 2 pealt on taimestiku lopsakuse üleminekud ning ka vee rohkuse osakaal hästi märgata.

2. METOODIKA

2.1. Proovide iseloomustus

Antud töö puhul teostati katseid kahe seeriana. Esimese katsega alustati 2020 novembris, teise katseseeriaga alustati 2021 veebruaris. Biogaasi katsetes kasutatud proovid olid kogutud Thaisa Fernandes Bergamo doktoritöö uuringute käigus Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituudis. Kõik proovid koguti Lääne-Eestist Haapsalu lahe ääres Silma looduskaitsealal asuvast Tahu rannaniidult. Kaitseala pindala on 4780 ha, millest umbes 560 ha on rannikuala (Burnside *et al* 2007).

Proovid koguti rannaniidu erinevatest vöönditest: OP – (open pioneer) subsaliinne vöönd, LS – (lower shore) salinne vöönd, US – (upper shore) suprasaliinne vöönd (joonis 2, joonis 3).



Joonis 3. Tahu rannaniit ja proovivõtu vööndid (Open Pioneer – subsaliinne vöönd, Lower Shore – salinne vöönd, Upper Shore – suprasaliinne vöönd). Pildi autor: Chris B. Joyce.

Taimekooslused klassifitseeriti Burnside jt. väljatöötatud fütosotsioloogilise klassifikatsiooni järgi, mis põhineb veesisaldusel ja soolsusel (Ward *et al* 2016). Biogaasi

katsesse OP alalt võeti 5 proovi, LS alalt 5 proovi ning US alalt samuti 5 proovi. Subsaliinset vööndit iseloomustab kõrge soolsusega muld (Ward *et al* 2013). Sellistes tingimustes on võimalised antud alal kasvama näiteks harilik soolarohi (*Salicornia europaea*) ja randsoodahein (*Suaeda maritima*). Saliinne vöönd rohumaal viitab sagedasele tunderluga (*Juncus gerardii*) ja punase aruheina (*Festuca rubra*) esinemisele. Suprasaliinne vöönd on tihedam kui saliidne vöönd, rohkelt on levinud punane aruhein (*Festuca rubra*) ja sügisene seanupp (*Leontodon autumnalis*) (Burnside *et al* 2007). Suurema biomassi saagikusega on saliidne vöönd ja suprasaliinne vöönd. Subsaliinses vööndis on teiste vöönditega võrreldes biomassi saagis hektari kohta väiksem.

2.2. Biogaasi mõõtmine

Läbi viidi kaks 30 päevast katseseeriat. Katsetes kasutati anaeroobsete mikroorganismide saamiseks Tartu reoveepuhasti anaeroobsest kääritist pärit kääritusjääki (edasipidi nimetatakse anaeroobseks mudaks). Kääritusjääk sõeluti läbi 2 mm avaga sõela suuremate tükide eemaldamiseks ja hoiti enne katsete algust 4–5 päeva 36°C juures gaaside eraldumiseks. Katsed teostati järgides biokeemilise metaani potentsiaali (BMP) testi metoodikat (Angelidaki *et al* 2009). Katsepudelitesse kaaluti 1,2–1,5g proovi ning sellele lisati anaeroobset muda. Taimeproovid olid enne biogaasi katsetes kasutamist kuivatatud ja purustatud. Kokku lisati proovi ja muda igasse pudelisse 200g. Katsetes kasutatud pudelid olid kogumahuga 575 ml. Kokku analüüsiti 15 taimeproovi. Lisaks oli üks nullproov, kuhu pandi ainult 200g anaeroobset muda ja taimeproovi ei lisatud. Iga prooviga teostati katsed kolmes korduses, kokku oli katseseerias 48 pudelit. Kui pudelid olid täidetud, voolutati läbi lämmastiku ja süsihappegaasi segu (80:20) õhu eemaldamiseks. Seejärel suleti katsepudelid õhukindlalt ning asetati 36°C juures termokappi. Esimesed rõhumõõtmised sooritati 2 tunni möödudes. Rõhku mõõdeti rõhumõõturiga BMP-Testsystem WAL (Meß- und Regelsysteme GmbH). Katsete alustamisest järgneval päeval mõõdeti rõhku (P_0), analüüsiti gaasi koostist ning peale seda mõõdeti uuesti rõhku (P_f). Seejärel segati pudelites olevat substraati pudelit loksutades ning asetati tagasi termokappi. Gaasi mõõdeti gaasikromatograafia Varian micro-GC CP-4900. Esimesel nädalal teostati rõhu ja gaasi mõõtmisi igapäevaselt. Edasi kuni 30-nda päevani tehti mõõtmisi 2–3 korda nädalas. Kõik andmed, mis mõõtmistel saadi, kirjutati laboris tabelisse ning hiljem kanti kõik andmed Bio- ja keskkonnakeemia laboris väljatöötatud Microsoft Exceli „BMP Calculation“

arvutustabelisse. Arvutati kumulatiivne biogaasi ja metaani tootlikkus. Biogaasi tekkimine arvutati liitrites (normaaltingimustes temperatuuril 0°C, rõhul 1 atm) kuivaine (L/kg KA) ja orgaanilise aine (L/kg OA) kohta. Arvutati metaani protsent biogaasis ning kiiruskonstant. Võrrandi 1 järgi leiti kiiruskonstandi k väärtus:

$$B = B_{max} \cdot (1 - e^{-kt}), \quad (1)$$

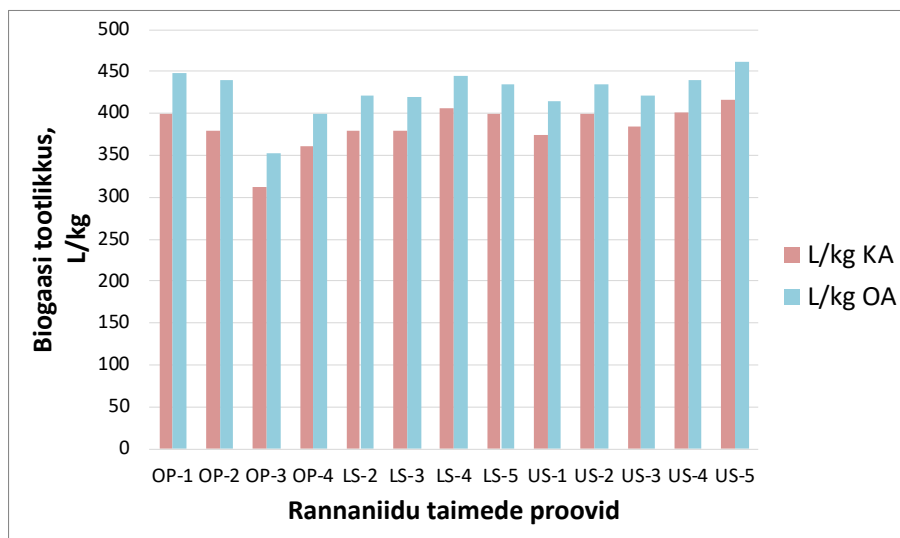
kus B on kumulatiivne biogaasi saagis ajahetkel t (L/kg KA), B_{max} on maksimaalne biogaasi saagis (L/kg KA) ja k on esimest järku kiiruskonstant (1/d).

Proovide kuivaine ja orgaanilise aine sisaldused määrati enne katsesse lisamist. Läbi viidi 2 katseseeriat, sest esimese katseseeria puhul esines palju gaasilekkeid. Tulemuste arvutamisel kasutati teise katseseeria käigus saadud tulemusi. Teise katseseeria puhul täheldati üksikutes katsepudelites gaasilekkeid, neid lõpptulemuste arvutamisel arvesse ei võetud. Lõpptulemused saadi 13 taimeproovi kohta. OP proovide puhul ei olnud ühte proovi piisavalt ning LS proovi kohta ei saanud lekete tõttu tulemusi.

3. TULEMUSED

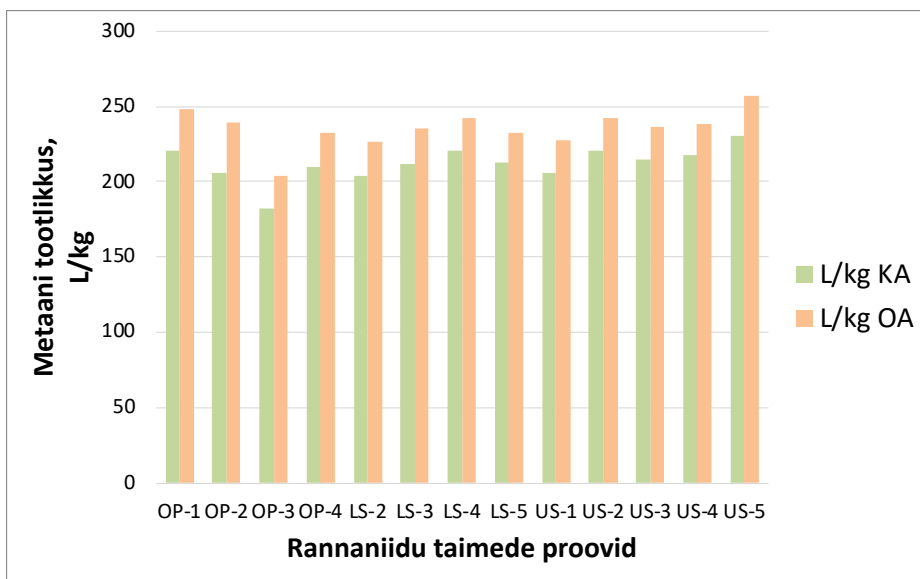
3.1. Biogaasi ja metaani tootlikkus

Rannaniidult kogutud taimeproovide biogaasi tootlikkus liitrit kilogrammis kuivaine (KA) ja orgaanilise aine (OA) kohta on näidatud joonisel 4. Biogaasi tootlikkus kuivaine kohta jäi vahemikku 313–416 L/kg. Tulpdiagrammilt on näha, et kõige rohkem biogaasi tekkis proovi US-5 korral, vastavalt 416 L/kg KA ja 462 L/kg OA. Vähim biogaas tekkis proovist OP-3, vastavalt 313 L/kg KA ja 352 L/kg OA. Ülejäänud proovide puhul oli biogaasi teke üsna sarnane. Biogaasi tootlikkus orgaanilise aine kohta jäi vahemikku 352–462 L/kg.



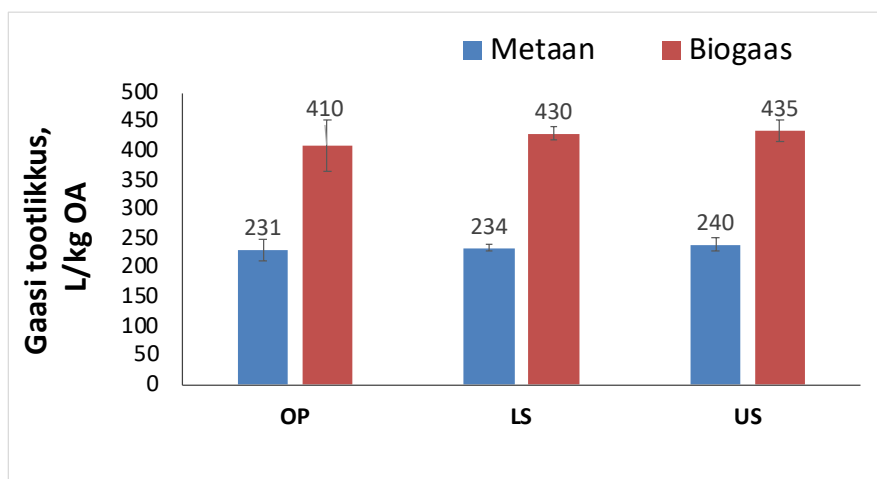
Joonis 4. Rannaniidu taimeproovide biogaasi tootlikkus.

Joonisel 5 on näidatud rannaniidu taimede metaani tootlikkus. Rannaniidu taimede metaani tootlikkus kuivaine kohta jäi vahemikku 182–231 L/kg. Tulpdiagrammilt on näha, et sarnaselt biogaasi tootlikkusega tekkis kõige rohkem metaani proovist US-5, 231 L/kg KA ja 257 L/kg OA. Kõige vähem metaani tekkis proovist OP-3, 182 L/kg KA ja 204 L/kg OA. Metaani tootlikkus orgaanilise aine kohta jäi vahemikku 204–257 L/kg. Keskmise metaani sisaldus biogaasis oli 55%.



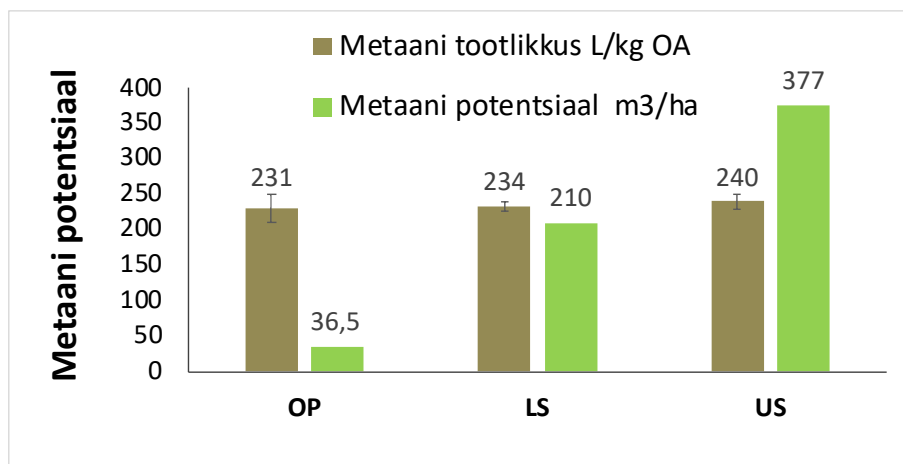
Joonis 5. Rannaniidu taimeproovide metaani tootlikkus.

Rannaniidu erinevatest võõnditest kogutud proovide keskmised biogaasi tootlikkused kuivaine kohta olid: OP – 364 L/kg, LS – 391 L/kg, US – 395 L/kg. Kõikide proovide keskmine biogaasi tootlikkus kuivaine kohta on 383 L/kg. Proovide keskmised metaani tootlikkused kuivaine kohta tulid: OP – 205 L/kg, US – 213 L/kg, LS – 218 L/kg. Keskmine metaani tootlikkus kuivaine kohta on 212 L/kg. Joonisel 6 on näha proovide keskmised biogaasi tootlikkused orgaanilise aine kohta. Kõikide taimeproovide biogaasi keskmine tootlikkus orgaanilise aine kohta oli 425 L/kg, metaani tootlikkus 235 L/kg. Keskmine metaani sisaldus biogaasis tuli 55%.



Joonis 6. Rannaniidu erinevatest võõnditest (OP – subsaliinne, LS – salinne, US – suprasaliinne) kogutud taimeproovide keskmine biogaasi ja metaani tootlikkus (veajooned tähistavad standardhälbeid).

Joonisel 7 on välja toodud metaani keskmised tootlikkused rannaniidu erinevate vööndite taimekoosluste kohta ning selle alusel arvutatud metaani tootmise potentsiaal m^3/ha , arvestades biomassi saagikusi. Tahu rannaniidu erinevate taimekoosluste biomassi saagikused Villoslada jt andmete alusel: subsaliinne vöönd (OP) – $18,7 \text{ g/m}^2$, saliidne vöönd (LS) – 182 g/m^2 , suprasaliinne (US) – 104 g/m^2 (Villoslada *et al* 2020).



Joonis 7. Rannaniidu erinevate vööndite taimekoosluste metaani tootlikkus (L/kg OA) ja (OP – subsaliinne, LS – saliidne, US – suprasaliinne) metaani potentsiaal (m^3/ha).

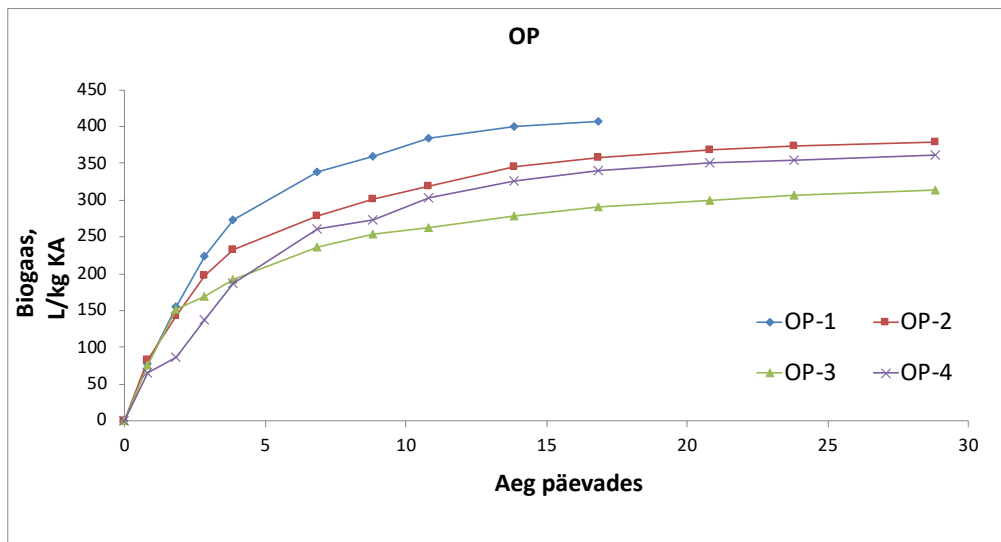
3.2. Biogaasi tekkimine ajas

Joonistel 8, 9 ja 10 on näidatud rannaniidu taimede biogaasi teke (L/kg KA) katseperioodi käigus. Joonistelt on näha päevade jooksul biogaasi kasv ning tulemuste varieerumine proovide vahel. Katse alguspäevadel oli biogaasi tekkimine proovides kiire, katse keskpaigas biogaasi sisalduse muutus ajas vähenes aegamööda ja katse viimastel päevadel biogaasi enam oluliselt juurde ei tekkinud. Joonistel 8–10 esitatud biogaasi tekke kõverad on saadud kolme (erandjuhul kahe) korduskatse keskmise tulemusena. Jooniselt 8 on näha, et kõige rohkem biogaasi tekkis proovis OP–1 ning kõige vähem proovis OP–3. Võrreldes joonist 8 joonistega 9 ja 10 on näha, et samast vööndist kogutud taimeproovide biogaasi teke erineb enim OP proovide korral.

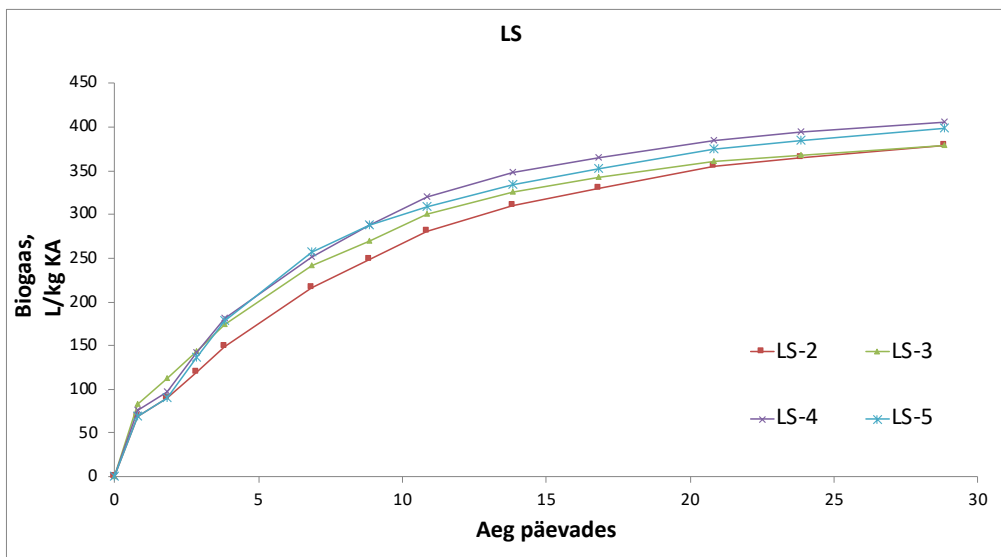
Joonisel 9 on näidatud saliidse vööndi (LS) rannaniidu taimede biogaasi teke (L/kg kuivaine kohta) katseperioodi käigus. Jooniselt 9 on näha, et kõige rohkem biogaasi tekkis proovis

LS-4 ning kõige vähem proovis LS-2, kuid üldiselt proovidest biogaasi teke omavahel oluliselt ei erinenud.

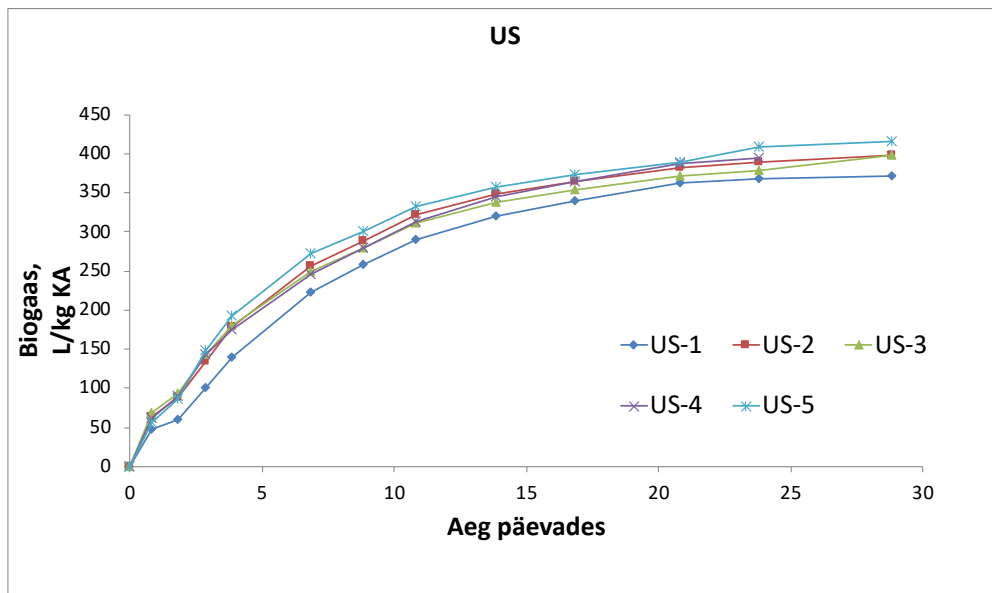
Joonisel 10 on näidatud rannaniidu suprasaliinse vööndi (US) taimede biogaasi teke katseperioodi käigus. On näha, et kõige rohkem biogaasi tekkis proovis US-5 ning kõige vähem proovis US-1, kuid biogaasi teke oli väga sarnane kõikide US proovide korral.



Joonis 8. OP proovide biogaasi (L/kg kuivaine kohta) tekkimine ajas.

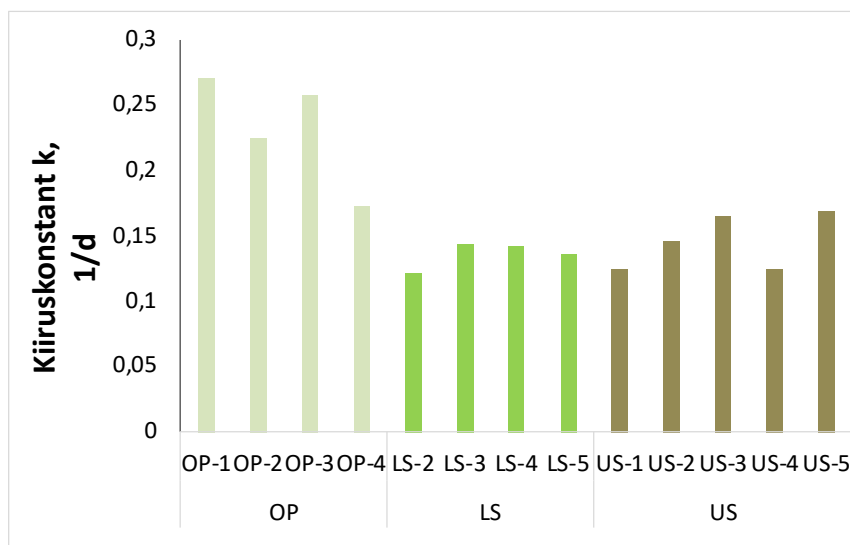


Joonis 9. LS proovide biogaasi (L/kg kuivaine kohta) tekkimine ajas.



Joonis 10. US proovide biogaasi (L/kg kuivaine kohta) tekkimine ajas.

Joonisel 11 on välja toodud biogaasi tekke kiirus proovides. On näha, et OP proovide korral oli kiiruskonstant suurem kui LS ja US proovide korral.



Joonis 11. Rannaniidu erinevate võõndite taimede biogaasi tekke kiirus.

Subsaliinse võõndi (OP) proovide korral oli keskmine kiiruskonstant 0,23 1/d, saliinse võõndi (LS) ja suprasaliinse võõndi (US) biogaasi tekkimise keskmine kiiruskonstant oli 0,14 1/d. See näitab, et biogaasi teke oli kiireim OP proovides.

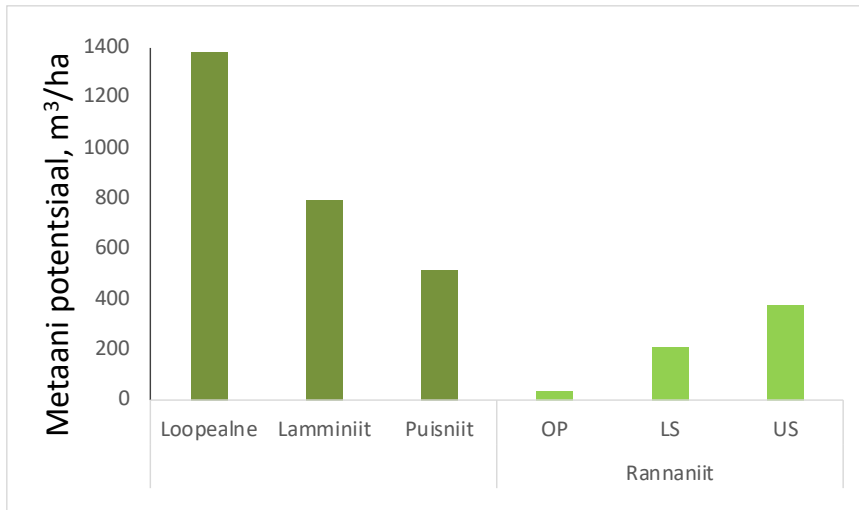
4. ARUTELU

Analüüsitud rannaniidu taimede biogaasi tootlikkused kuivaine kohta tulid 313–416 L/kg (keskmine 383 L/kg) ning orgaanilise aine kohta 352–462 L/kg (keskmine 425 L/kg). Metaani keskmine tootlikkus kuivaine kohta oli 212 L/kg ja orgaanilise aine kohta 235 L/kg. Erinevate vööndite taimekoosluste kohta arvutatud biogaasi ja biometaani keskmised tootlikkused oluliselt ei erinenud (joonis 7). Erinevusi täheldati biogaasi tekke kiiruses, kus teistest kiirem oli subsaliinsese vööndi (OP) taimedest biogaasi teke. See võib olla tingitud taimede keemilise koostise erinevusest, kuid taimede keemilist koostist lõputöö raames ei uuritud.

Töös saadud keskmised metaani tootlikkuse tulemused on veidi madalamad kui kirjanduses avaldatud andmed pool-looduslike rohumaade erinevate taimeliikide kohta, kus saadi metaani tootlikkuseks 270–320 L/kg OA (Melts et al 2014).

Arvestades biomassi saagikusi Tahu rannaniidu erinevate taimekoosluste kohta (Villoslada et al 2020), oli võimalik saadud töö tulemusi arvesse võttes anda hinnang rannaniidu metaani potentsiaali kohta. Olgugi, et biomassi metaani tootlikkus (L/kg OA) erinevat vööndite taimekoosluste korral oli sarnane (joonis 6), siis potentsiaalne metaani saagis rannaniidu pindalaühiku kohta oluliselt erineb vööndite korral (joonis 7). Kõige kõrgeim metaani potentsiaal m³/ha kohta on suprasaliinse vööndi taimekooslusel, seda tänu kõrgemale biomassi saagikusele.

Joonisel 12 on toodud andmed erinevate niidutüüpide metaani tootmise potentsiaali võrdluseks. Joonisel 12 esitatud andmete põhjal saab järeldada, et üldises pildis on rannaniidu metaani tootmise potentsiaal oluliselt madalam kui teiste niidutüüpide korral. Eriti madal on metaani tootmise potentsiaal rannaniidu subsaliinsel vööndil. Suprasaliinse vööndi metaani tootmise potentsiaal on rannaniidu vöönditest kõige kõrgem.



Joonis.12 Erinevate niidutüüpide metaani potentsiaal. Rannaniidu andmed käesolevast tööst, võrdlusandmed loopealse, lamminiidu ja puisniidu kohta Melts jt. (Melts et al, 2013)

Rannaniidu taimed omavad mitmeid eeliseid biogaasi lähtematerjalina. Neid saab koguda puhtalt, proovid ei sisalda võõriseid, ei vaja hügieniseerimist. Seega ei ole vaja lisaetappe eeltöötlemiseks, mida võib vaja olla muude lähtematerjalide kasutamisel biogaasi tootmiseks. Samas puuduseks võib pidada seda, et rannaniidul biomassi teke sõltub suuresti aastaajast, seega ei ole võimalik talvisel perioodil koguda lähtematerjaliks. Keskkonnakaitse seisukohalt ei ole rannaniitude biomassi kasutamine väikesemahulise biogaasi tootmisega vastuolus. Rannaniitudelt on vajalik aeg-ajalt teatud koguses tekkinud biomassi eemaldada, see aitab kaasa niidu uuenemisele.

KOKKUVÕTE

Taastuvenergia on ülemaailmselt muutumas aina olulisemaks teemaks. Hetkel on maailmamajandus suuresti sõltuvuses imporditavatest ja taastumatutest energiaallikatest. Inimkonna kasvuga suureneb aina enam tarbimine, probleemiks on see just taastumatute energiaallikate puhul, kuna neid enam juurde ei teki. Seetõttu on taastuvatel energiaallikatel, eriti biogaasil väga tähtis koht jätkusuutlikus arengus. Inimeste huvi alternatiivsete energiaallikate vastu on viimasel ajal tohutult kasvanud, eriti seepärast, et fossiilkütuste osakaalu, prügilate jäätmekoguseid ja kasvuhoonegaase vähendada ning vältida taastumatute energiaallikate otsalõppemist.

Bakalaureusetöös hinnati rannaniidu taimede potentsiaali biogaasi tootmiseks. Rannaniidu taimede biogaasi tootlikkuse määramiseks viidi läbi biokeemilise metaani potentsiaali katsed (BMP). Katses kasutati Eesti rannaniidu taimi, mis olid kõik kogutud Tahu rannaniidult. Kokku analüüsiti 15 taimeproovi rannaniidu erinevatest võõnditest. Nendeks olid subsaliinne võõnd (OP), salienne võõnd (LS) ja suprasaliinnse võõnd (US). Iga prooviga teostati katsed kolmes korduses. Katseseeriaid tehti kokku kaks, ühe katse kestuseks 30 päeva. Proovipudelites mõõdeti rõhku ning gaasi metaanisisaldust, mille põhjal arvutati biogaasi ja metaani tootlikkused. Hinnati ka biogaasi teke kiirust erinevate proovide korral. Rannaniidu taimede biogaasi tootlikkus tuli keskmiselt 383 L/kg kuivaine kohta (KA) ning 425 L/kg orgaanilise aine (OA) kohta. Metaani keskmine tootlikkus kuivaine kohta tuli 212 L/kg ja orgaanilise aine kohta 235 L/kg. Metaani oli biogaasis keskmiselt 55%. Tulemustest selgus, et kiirem oli biogaasi teke subsaliinsest võõndist kogutud taimeproovidest. Rannaniidu taimed on biogaasi tootmiseks sobilikud lähtematerjalid. Erinevate võõndite taimekoosluste biogaasi ja biometaani tootlikkus ei erinenud.

Töö tulemustest selgus, et rannaniidu taimede metaani saagis m^3/ha kohta ei sõltu taimede metaani tootlikkusest, vaid biomassi saagisest rannaniidu erinevatest võõnditest. Biomassi suurem saagis hektari kohta suprasaliinsest võõndist muudab selle võõndi taimekoosluse bioenergia tootmise mõttes perspektiivikamaks võrreldes teiste uuritud võõndite taimekooslustega.

SUMMARY

Renewable energy is becoming an increasingly important issue worldwide. Currently, the world economy is heavily dependent on imported and non-renewable energy sources. With the growth of humanity, consumption is increasing, and this is a problem for non-renewable energy sources because they run out. Therefore, renewable energy sources, especially biogas, owns a very important role in sustainable development. Recently, people's interest in alternative energy sources has grown enormously as a way to reduce the share of fossil fuels, landfill waste and greenhouse gases.

The bachelor's thesis assessed the potential of coastal meadow plants for biogas production. Biochemical methane potential (BMP) tests were performed to determine the biogas productivity of coastal meadow plants. The plants used in the experiment were all collected from Estonian coastal meadow Tahu. A total of 15 analyzed plant samples were collected from zones of different salinity from the coastal meadow. These were the open pioneer (OP), lower shore (LS) and upper shore (US). Each sample was tested in triplicate. Two series of 30 day experiments were performed. The pressure and methane content of the gas in the sample bottles were measured and analyzed, and the biogas and methane potential was calculated. The rate of biogas production was also evaluated for different samples. The average biogas potential of coastal meadow plants was 383 L/kg (TS) and 425 L/kg (VS). The average potential of methane was 212 L/kg TS and 235 L/kg VS. The average methane content in biogas was 55%. The results showed that the highest biogas production rate was gained from plant samples collected from the open pioneer. Coastal meadow plants are suitable raw materials for biogas production.

The results of the work showed that the methane yield m^3/ha of coastal meadow plants did not depend on the methane potential of the plants, but on the biomass yield from specific zone of the coastal meadow. The higher yield of biomass per hectare from the upper shore makes the plant community in this zone more promising in terms of biogas production compared to the plant communities of the other studied zones.

KASUTATUD KIRJANDUS

- Abbasi, T., Tauseef, S.M., Abbasi, S.A.** (2012). *Biogas Energy*. Publisher: Springer-Verlag New York. 169 p.
- Angelidaki, I., Karakashev, D., Batstone, D.J., Plugge, C.M., Stams, A.J.M.** (2011). *Biomethanation and Its Potential. - Methods in enzymology*. Colowick, S.P., Kaplan, N.O. Publisher: Elsevier. Vol 493, pp. 327-351.
- Bedoíca, R., Čučekb, L., Čosića, B., Krajncb, D., Smoljanića, G., Kravanjab, Z., Ljubasa, T., Pukšeca, T., Duića, N.** (2019). Green biomass to biogas – A study on anaerobic digestion of residue grass. *Journal of Cleaner Production*. Publisher: Elsevier. Vol. 213, pp 700-709.
- Bharathiraja, B., Sudharsana, T., Jayamuthunagai, J., Praveenkumar, R., Chozhavendhan, S., Iyyappan, J.** (2018). Biogas production – A review on composition, fuel properties, feed stock and principles of anaerobic digestion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Publisher: Elsevier. Vol. 90, pp. 570-582.
- Biogaasi tootmine ja kasutamine: Käsiraamat. (2009). Tartu: Eesti Põllumeeste Keskliit. 157 lk.
- Burnside, N.G., Joyce, C.B., Puurmann, Elle., Scott, D.M.** (2007). Use of vegetation classification and plant indicators to assess grazing abandonment in Estonia coastal wetlands. *Journal of Vegetation Science*. Publisher: Wiley-Blackwell. Vol. 18, Issue 5, pp. 645-654.
- Eesti Biogaasi Assotsiatsioon - Biogaas ja sellel baseeruva energiatootmise edendamise katuseorganisatsioon Eestis. (2009). Tootmine ja kasutamine. [veebileht] <http://eestibiogaas.ee/> (19.03.2021)
- Eesti riiklik energia- ja kliimakava aastani 2030 (REKK 2030). (2019). https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/ee_final_necp_main_ee.pdf (10.04.2021)
- Elering. (2010). Taastuvenergia. [veebileht] <https://elering.ee/ettevotest> (28.03.2021)
- Elektrituruseadus. (Vastu võetud 11.02.2003, muudetud, täiendatud, viimati jõustunud 2018). – Riigi Teataja. <https://www.riigiteataja.ee/akt/129062018071> (21.04.2021)
- Energiakultuuride (Päideroo) kasvatamise ja kasutamise majanduslik hinnang Eestis. Lõpparuanne. (2011). Värnik, R. Tartu: Eesti Maaülikool. Majandus- ja Sotsiaalinstituut. 138 lk. https://www.pikk.ee/upload/files/Teadusinfo/Varnik_lpparuanne.pdf (26.04.2021)
- EV Keskkonnaministeerium. (2005). Projekt 617539 - Biolagunevate jäätmete käitlemine, II etapp. [on-line] https://www.envir.ee/sites/default/files/biolagunevad_ii_etapp_2005.pdf (21.03.2021)

- Heinsoo, K., Melts, I., Sammul, M., Holm, B.** (2010). The potential of Estonian semi-natural grasslands for bioenergy production. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. Publisher: Elsevier. Vol. Issue 1-2, 137. pp. 86–92.
- Kimmel, K., Kull, A., Salm, J-O., Mander, Ü.** (2010). The status, conservation and sustainable use of Estonian wetlands. *Wetlands of the world*. Science+Business Media. Publisher: Springer Netherlands. Vol 18 (4), pp. 375–395.
- Kriipsalu, M., Maastik, A., Truu, J.** (2016). Jäätmekäitlus ja pinnase tervendamine. Õpik kõrgkoolidele. TTÜ kirjastus: Tallinn. 376 lk.
- Korres, N.E., O’Kiely, P., Benzie, J.A.H., West, J.S.** (2013). Bioenergy Production by Anaerobic Digestion. Using agricultural biomass and organic wastes. Publisher: Routledge. 473 p.
- Kumar, S., Paritosh, K., Pareek, N., Chawade, A., Vivekanand, V.** (2018). De-construction of major Indian cereal crop residues through chemical pretreatment for improved biogas production: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Publisher: Elsevier. Vol. 90, pp. 160–170.
- Lotman, S., Rannap, R.** Pärändkoosluse Kaitse Ühing. (2020). Rannaniitude hoolduskava 2020. 62 lk. [veebileht] <https://www.keskkonnaamet.ee/et/eesmargid-tegevused/maahooldus/tegevus-ja-hoolduskavad> (06.05.2021)
- Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium. (2009). Eesti taastuvenergia tegevuskava aastani 2020. [on-line] https://www.mkm.ee/sites/default/files/taastuvenergia_tegevuskava.pdf (23.03.2021)
- Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium. (2009). Taastuvenergia. [veebileht] <https://mkm.ee/et/tegevused-eesmargid/energeetika/taastuvenergia> (24.03.2021)
- Mao, C., Feng, Y., Wang, X., Ren, G.** (2015). Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Publisher: Elsevier. Vol 45, pp. 540–555.
- Melts, I., Heinsoo, K., Nurk, L., Pärn, L.** (2013). Comparison of two different bioenergy production options from late harvested biomass of Estonia semi-natural grasslands. *Energy*. Publisher: Elsevier. Vol. 61, pp. 6–12.
- Melts, I., Normak, A., Nurk, L., Heinsoo, K.** (2014). Chemical characteristics of biomass from nature conservation management for methane production. *Bioresource Technology*. Publisher: Elsevier. Vol. 167, pp. 226–231.
- Nijaguna, B.T.** (2006). Biogas Technology. Publisher: New Age International. 298 p. [on-line] Pärändkoosluse Kaitse Ühing. (s.a.) Rannaniidud Eestis. [veebileht] http://www.pky.ee/index.php?option=com_content&view=article&id=70&Itemid=80 (09.05.2021)

- Rannap, R., Briggs, L., Lotman, K., Lepik, I., Rannap, V., Põdra, P.** (2004). Coastal meadow management. Boreal Baltic Coastal Meadow Preservation in Estonia. Publisher: Keskkonnaministeerium. 100 p.
- Rasapoor, M., Young, B., Brar, R., Sarmah, A., Zhuang, W.-Q., Baroutian, S.** (2020). Recognizing the challenges of anaerobic digestion: Critical steps towards improving biogas generation. Publisher: Elsevier. Vol. 261.
- Ren, Y., Yu, M., Wu, C., Wang, Q., Gao, M., Huang, Q., Liu, Y.** (2018). A comprehensive review on food waste anaerobic digestion: Research updates and tendencies. *Bioresource Technology*. Publisher: Elsevier. Vol. 247, pp. 1069–1079.
- Villoslada, M., Bergamo, T. F., Ward, R., Joyce, C., & Sepp, K.** (2020). A novel UAV-based approach for biomass prediction and grassland structure assessment in coastal meadows. *Ecological Indicators*. Publisher: Elsevier. Vol. 122.
- Ward, R. D., Burnside, N. G., Joyce, C. B., & Sepp, K.** (2016). Importance of microtopography in determining plant community distribution in Baltic Coastal Wetlands. *Journal of Coastal Research*, Vol. 32(5), pp. 1062–1070.
- Ward, R. D., Burnside, N. G., Joyce, C. B., & Sepp, K.** (2013). The use of medium point density LiDAR elevation data to determine plant community types in Baltic coastal wetlands. *Ecological Indicators*, Vol. 33, pp. 96–104.

LISAD

Lisa 1. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus töö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Liisi Anete Mark,

sünniaeg 10.01.1999

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö „Eesti rannaniitude biogaasi potentsiaali hindamine“, mille juhendaja(d) on Kaja Orupõld, *PhD*, Lisandra Marina da Rocha Meneses, *PhD*, Thaisa Fernandes Bergamo,
 - 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
 - 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
 - 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemisekskuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor Liisi Anete Mark

/allkirjastatud digitaalselt/

Tartu, 25.05.2021

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

Kaja Orupõld

25.05.2021

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)

/allkirjastatud digitaalselt/

Lisandra Marina da Rocha Meneses

25.05.2021

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)

/allkirjastatud digitaalselt/

Thaisa Fernandes Bergamo

25.05.2021

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)

/allkirjastatud digitaalselt/